1999 年 度 大 韓 電 子 工 學 會 夏 季 綜 合 學 術 大 會 論 文 集 第 22 卷 第 1 號 99/6

VDSL system을 위한 전송능력 분석

°유창완*, 정인택*, 송상섭**
*전북대학교 전자공학과, **전북대학교 전자정보공학부
전화 : (0652) 251-2413 / 팩스 : (0652) 270-2400

Analysis of Channel Capacity for VDSL System

°Chang-Wan Yoo, In-Taek Jeong, Sang-Seob Song
* Department of Electronics Engineering, Chonbuk National University
** Faculty of Electronic and Information Engineering, Chonbuk National University
E-mail : cwyu@codelab.chonbuk.ac.kr

※ 본 논문은 한국과학재단 '97 특정기초연구사업(과제번호97-0100-1001-3)의 연구비에 의해 연구되었음.

Abstract

In this paper, we analyzed transmission capability of VDSL system under the various noise in VDSL transmission lines. For this, we calculated transmission capacity using loading algorithm with transmission channel which suggested by ANSI DSL standard group T1E1.4. As a result, we've got approximated outcome similiar with target capacity in VDSL systems in short range. But we couldn't have got a outcome with target capacity in long range.

I. 서론

광대역 정보통신 기술의 성장으로 가입자망 접속기술로의 기술개발이 전환되고 있으며, 기존의 전송선로를 통하여 고속 데이터를 전송할 수 있는 모뎀 개발에 열띤 경쟁을 이루고 있다. 이런 고속의 데이터를 전송하기 위한 가입자망 전송 기술로서 비교적 먼 거리(≤5.4km)에서 최대 10Mbps를 전송할 수 있는 ADSL(Asymmetric Digital Subscriber Line)과 비교적 짧은 거리(0.3km~1.5km)에서 최대 50Mbps를 전송할 수 있는 VDSL(Very-high-speed Digital Subscriber Lines) 기술이 각광 받고 있다. VDSL 기술은 1994년 VOD에 대한 표준을 위해서 만든 기구인 DAVIC (Digital Audio visual Council)에서만 single carrier 방식의 표준을 내놓고 있다.[2] 현재 VDSL 기술의 변조 방식으로는 single-carrier 방식인 CAP/ QAM과, multi-carrier 방식인 DMT, DWMT등의 기술이 경합을 벌이고 있다. VDSL 시스템은 주어진 전송채널을 통하여 50Mbps급의 데이터를 전송해야 한다. 이를 만족하는 전송 시스템을 설계하기 위해서는 먼저 전송채널을 통한 전송능력을 분석해야 한다. 이를 위해 본 논문에서는 ANSI DSL standard group T1E1.4에서 제시된 VDSL test loop에 AWGN, NEXT, FEXT, 아마추어 무선 잡음등을 고려하여 VDSL 시스템의 전송능력을 평가한다. 이를 위해서 2절에서는 VDSL 시스템 및 전송채널에 대해 설명하고, 3절에서는 VDSL system에 영향을 미치는 잡음에 대해 알아보았으며, 4절에서는 Loading algorithm을 통하여 전송 가능한 data rate를 구하는 방법에 대해서 설명하고, 마지막으로 simulation 결과를 보여주고, 결론을 맺는다.

II. VDSL 시스템 및 전송채널

II.1. VDSL 시스템

그림 1은 VDSL 시스템의 참고 모델이다. 여기서 VTU-O(VDSL Transmission Unit - at the Optical network interface)는 ONU측을 의미하여, VTU-R (VDSL Transmission Unit - Remote)은 가입자측을 의미하고 있다. VTU-O는 상위계층으로부터 디지털 신호를 reference point U_2-O에서의 VDSL 아날로그 신호로 변화시킨다. 반면에 VTU-R은 채널로부터의 VDSl 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하는 기능을 수행한다. 일반적으로 VTU-O에서 VTU-R로의 데이터 전송을 downstream이라고 하며, VTU-R에서 VTU-O로의 데이터 전송은 upstream이라고 한다.

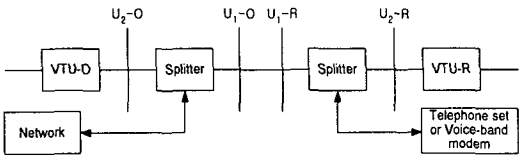

그림 1. VDSL 시스템의 reference model.

본 논문에서는 주파수를 상향(upstream)과 하향(down stream)으로 구분하는 주파수 분할 방식(FDD : Frequency Division Duplexing)을 적용하였고, 각 부채널의 대역폭은 ADSL system에서 정의된 4kHz의 10배에 해당하는 40kHz로 선정하였다. 이에 따라 상향 대역은 POTS(Plain Old Telephone Service), ISDN 및 ADSL 서비스 대역과 겹치는 부분을 피할 수 있는 1.104MHz에서부터 2.56MHz까지를 상향 대역으로 할당하였고, 하향 대역은 2.56MHz에서부터 10.24MHz까지를 할당하였다. 그림 2와 표 1은 상향 대역과 하향 대역에 할당된 주파수를 요약하였다.

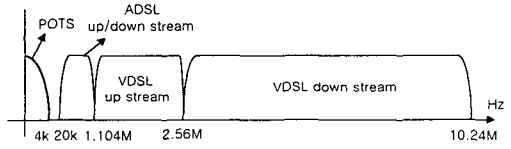

그림 2. VDSL 상향/하향 주파수 대역

표 1. VDSL 상향/하향 주파수 대역

	상향대역	하향대역
부채널 B/W	40kHz	40kHz
부채널 개수	64	256
가용 B/W	1.104~2.56MHz	2.56~10.24MHz

II.2. VDSL 전송 채널

본 논문에 적용된 VDSL 전송 채널은 그림 3과 같이 ANSI T1E1.4 DSL standard group에 제안된 VDSL system requirements에서 제안하고 있는 test loop들을 적용하였다[3]. Test loop은 short, medium, long range로 범위를 나누고 있는데, short range는 1000ft(300m), medium range는 3000ft(914m), long range는 4500ft (1,376m)를 나타내고 있고, test loop중에서 loop 4, 5, 6, 7은 bridge tap의 영향을 고려한 test loop이다. 그림 4, 5, 6은 그림 3의 test loop들에 대한 전달함수를 보여주고 있다.

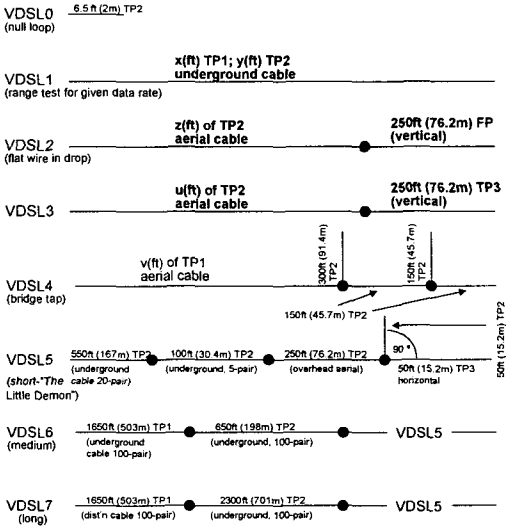

그림 3. VDSL test loops

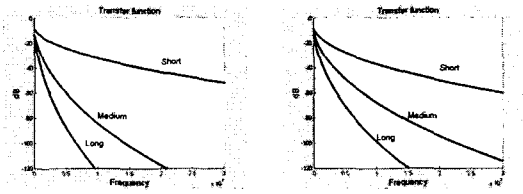

그림 4. VDSL loop 1x와 1y의 전달함수

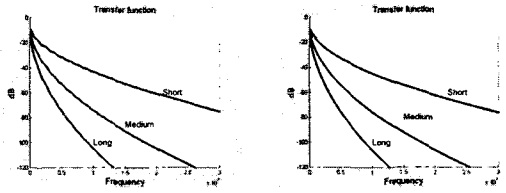

그림 5. VDSL loop 2와 3의 전달함수

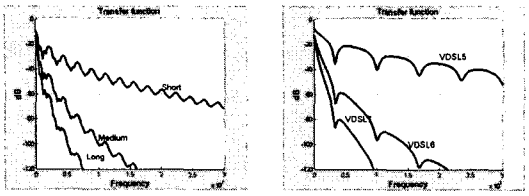

그림 6. VDSL loop 4와 5, 6, 7의 전달함수

III. VDSL system의 잡음

VDSL system에 영향을 미치는 잡음들은 다음과 같다. 첫 번째는 누화 잡음(crosstalk noise)이다. 누화 잡음은 아래와 같은 수식으로 모델링을 할 수 있다.

$$PSD_{NEXT} = PSD_{disturber} \cdot K_{next} \cdot (N/49)^{0.6} \cdot f^{1.5}$$

$$PSD_{FEXT} = PSD_{disturber} \cdot K_{fext} \cdot |H(f)|^2 \cdot (N/49)^{0.6} \cdot d \cdot f^2$$

여기서 $K_{next} = 8.818 \cdot 10^{-14}$, $K_{fext} = 7.999 \cdot 10^{-20}$, N=누화잡음을 일으키는 선로의 수, d=loop의 길이를 의미한다. 본 논문에서는 주파수 분할 방식을 사용하여 상향과 하향에 서로 다른 대역폭을 사용하므로 NEXT의 영향은 bandpass filter에 의해 제거될 수 있고, 또한 FEXT를 야기시키는 여러 가지 다른 성분(ISDN, HDSL, ADSL 등)들도 역시 VDSL에 할당된 주파수 대역과 겹치지 않으므로 무시할 수 있을 정도의 작은 값이 된다. 따라서 VDSL FEXT가 system의 주된 열화 요인이 된다.

VDSL 모뎀의 알고리즘을 설계하는데 중요한 감쇄 요인중 또 다른 하나는 아마추어 무선(HAM)으로서 VDSL과 대역폭의 일부를 공유함으로써 발생하는 잡음이다. multi-carrier 방식 VDSL system에서는 아마추어 무선이 영향을 미치는 부채널에는 bit을 할당하지 않음으로써 그 영향을 제거할 수 있다. 표 2는 아마추어 무선이 존재하는 대역이다.

표 2. 아마추어 무선 bands

아마추어 무선 bands
1.81 ~ 2.0 MHz
3.5 ~ 4.0 MHz
7.0 ~ 7.3 MHz
10.1 ~ 10.15 MHz
14 ~ 14.35 MHz
18.068 ~ 18.168 MHz
21 ~ 21.45 MHz
24.89 ~ 24.99 MHz

이밖에도 고려되어야 하는 잡음에는 impulse noise와 background noise, WGN(white gaussian noise)등이 있다. 이에 대해 ANSI와 ETSI(European Telecommunications Standards Institute)에서 고려되고 있는 VDSL test model은 그림 7와 같다[4].

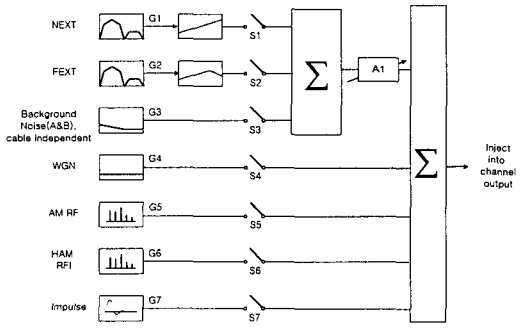

그림 7. VDSL test model

VI. Loading 알고리즘

본 논문에서 사용한 loading 알고리즘은 다음과 같다.[5] 먼저 주어진 power로부터 각 부채널의 energy를 계산한다.(N=부채널의 수, i=부채널의 번호)

$$E = E_i = \frac{P \cdot T}{N}$$

계산된 energy값을 가지고 부채널의 SNR을 계산한다.

$$SNR_i = \frac{E \cdot |H_i|^2}{2\sigma_i^2}$$

여기서 σ_i^2은 system에 영향을 미치는 각종 noise들의 power 합을 의미한다(즉, $\sigma_i^2 = \sigma_{AWGN}^2 + \sigma_{FEXT}^2 + \cdots$).
다음은 주어진 SNR margin(γ_m)과 코딩 gain(γ_c)를 이용하여 각 부채널에 할당되는 bit(b_i)를 계산한다.

$$b_i = \log_2(1 + \frac{SNR_i}{\Gamma})$$

여기서 $\Gamma(gap) = 9.8(dB) + \gamma_m - \gamma_c$ 를 의미한다.
ANSI T1E1.4, ETSI, ITU-T와 같은 표준화 기구에서는 VDSL 시스템의 성능평가 기준으로 $P_e = 10^{-7}$에 6dB margin을 갖도록 권고하고 있다. 따라서, $P_e = 10^{-7}$을 만족시키기 위한 조건이 $\Gamma(gap)$을 계산하기 위해 고려되어졌고, SNR margin(γ_m)은 6dB, 코딩 gain(γ_c)은 TCM(Trellis Coded Modulation)에서 얻을 수 있는 4.5dB를 고려하였다. 계산된 b_i중에서 $b_i < 0.5$인 부채널은 $E_i = 0$으로 reset시키고, 다른 부채널의 에너지를 균등하게 reallocate시켜 다시 b_i를 계산한 후 최종적으로 data rate를 계산한다[6].

$$R=(\sum_{i=1}^{N} b_i)/T$$

여기서, R=data rate, $1/T$=symbol rate를 의미한다.

V. Simulation 결과

본 논문에서는 현재 표준화가 진행되고 있는 VDSL system에서 여러 가지의 전송채널에서 최대 전송능력을 구해보았다. AWGN과 20 VDSL FEXT를 고려하여 VDSL loop 1y, loop5, loop6, loop7를 가지고 simulation 한 결과와 AWGN, 20 VDSL FEXT, 아마추어 무선(HAM)을 고려하여 simulation 하였을 때 얻어진 data rate를 표 3에서 보여주고 있으며, 그림 8, 9, 10에서는 loop 1y의 short, medium, long range에서의 SNR과 bit assignment를 보여주고 있다.

표 3. 측정된 data rate

noise / loop	AWGN 20 VDSL FEXT	AWGN, HAM 20 VDSL FEXT
loop1y, short	56.06Mbps	49.89Mbps
loop1y, medium	31.61Mbps	27.47Mbps
loop1y, long	11.81Mbps	6.425Mbps
loop 5	56.11Mbps	49.94Mbps
loop 6	14.41Mbps	12.08Mbps
loop 7	0.527Mbps	0.527Mbps

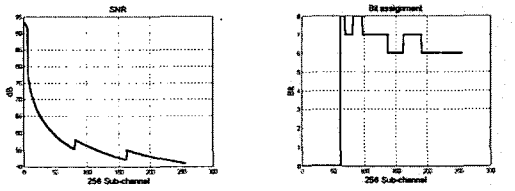

그림 8. loop 1y, short의 SNR과 bit assignment

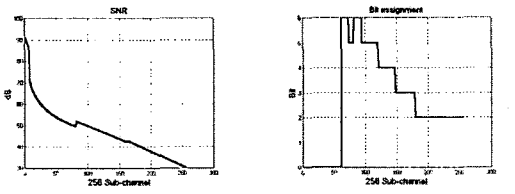

그림 9. loop 1y, medium의 SNR과 bit assignment

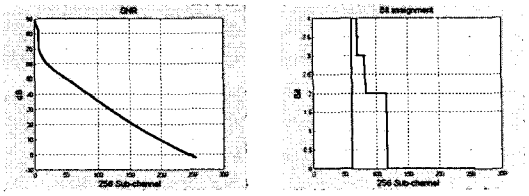

그림 10. loop 1y, long의 SNR과 bit assignment

VI. 결 론

본 논문은 최근 각광받고 있는 VDSL system의 채널 특성과 system에 영향을 미치는 각종 잡음들에 대해 살펴본후 loading 알고리즘을 통하여 각기 다른 채널에서의 전송능력을 확인하였다. 결과에서 보는바와 같이 짧은 거리에서는 VDSL 시스템에서 목표로 삼고 있는 전송 능력에 근접한 결과를 얻을 수 있었지만 긴 거리에서는 이보다 훨씬 못미치는 결과를 얻을 수 있었다. 추후 연구 과제는 실제로 VDSL system의 모든 부분들이 다 갖추어진 후에 system의 성능을 분석하는 일이라 하겠다.

참고문헌(Reference)

[1] DAVIC 1.2, Specification Part 8, "Lower Layer Protocols and Physical Interfaces," Revision 4.2.

[2] ANSI T1E1.4/98-043R8, "Very-high-speed Digital Subscriber Lines System Requirements," November. 1998

[3] ETSI TS 101 270-1 V1.1.2, "Transmission and Multiplexing; Access transmission systems on metallic access cables; VDSL; Part 1 : Functional requirements," June. 1998

[4] J. S. Chow, J. C. Tu, and J. M. Cioffi, "A discrete multitone transceiver system for HDSL applications," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 9, pp. 895-908, Aug. 1991.

[5] ANSI T1E1.4/91-157, "A Multicarrier Primer", J. M. Cioffi, November 11, 1991